

# PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON KINERJA TINGGI

Sri Raharja<sup>1)</sup>, Sholihin As'ad<sup>2)</sup>, Sunarmasto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2),3)</sup> Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail : jaja.franzo@gmail.com

## Abstract

*High performance concrete is an innovation in the manufacturing of concrete efforts to create a concrete that has better performance than conventional concrete. Rice husk ash is a waste produced from rice milling unused if not treated can contaminate the environment. Rice husk ash readily available in all regions in Indonesia for rice as the staple food of Indonesia's population. Characteristics of rice husk ash that contained silica is quite subtle to be basic use as a partial replacement of cement in the concrete mix. High performance concrete using rice husk ash is one way to create a environment friendly concrete. This study aimed to determine the effect rice husk ash usage as cement replacement in concrete in terms of compressive strength and modulus of elasticity of high performance concrete. This study was experimental method with a total of 18 specimens. Concrete cylindrical specimens with 7.62 cm (3 inch) of diameter and 15.24 cm (6 inch) of high. The mixture rice husk ash composition used in mixture as cement replacement was 0% , 2.5% , 5% , 7.5% , 10% and 15 %. Each mixture mix was made in 3 test object. The design test compressive strength of concrete mixture is  $f_c' = 80$  MPa. Test of compressive strength and modulus of elasticity performed at 28 days. The test results showed that the use of rice husk ash as a partial replacement of cement resulting in increased concrete compressive strength. The best result was reached in 10% of amount of rice husk ash in mixture 18.15% (from 85.55 MPa to 101.07 MPa). Effect of rice husk ash to the elastic modulus is proportional to the compressive strength. Elasticity modulus values also tend to increase along with the increasing dosage of rice husk ash as a partial cement replacement material, ie by 2.45% - 14.11%.*

**Keywords :** rice husk ash, compressive strength and modulus of elasticity.

## Abstrak

Beton kinerja tinggi merupakan suatu inovasi pembuatan beton dalam usaha untuk menciptakan beton yang memiliki kinerja yang lebih baik dari beton konvensional. Abu sekam padi merupakan limbah hasil penggilingan padi yang tidak terpakai bila tidak diolah dapat mencemari lingkungan. Abu sekam padi mudah didapatkan di seluruh wilayah di Indonesia karena padi sebagai makanan pokok penduduk Indonesia. Karakteristik abu sekam padi yang cukup halus dengan kandungan silika aktif yang tinggi menjadi dasar penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Penggantian sebagian semen menggunakan abu sekam padi merupakan salah satu upaya menjadikan beton lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen ditinjau dari kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total 18 benda uji. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 7,62 cm (3 inch) dan tinggi 15,24 cm (6 inch) dan menggunakan variasi komposisi abu sekam padi 0% , 2,5% , 5% , 7,5% , 10% dan 15%. Setiap jenis campuran beton dibuat 3 benda uji. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f_c' = 80$  MPa. Uji kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen mengakibatkan peningkatan nilai kuat tekan. Peningkatan terbesar terjadi pada variasi 10% abu sekam padi yaitu sebesar 18,15% (dari 85,55 MPa menjadi 101,07 MPa). Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya. Nilai modulus elastisitas juga cenderung mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen, yaitu sebesar 2,45% - 14,11%.

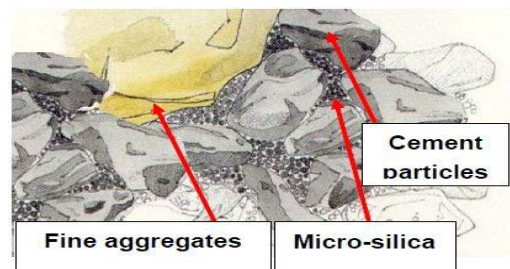
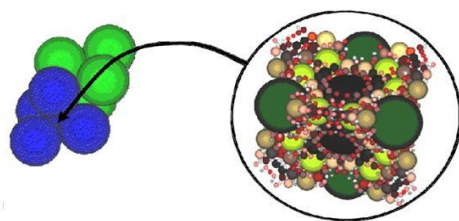
**Kata Kunci :** abu sekam padi, kuat tekan dan modulus elastisitas.

## PENDAHULUAN

Pembangunan adalah salah satu solusi yang dilakukan secara berkelanjutan dan terus menerus yang diarahkan pada peningkatan taraf hidup masyarakat dan kesejahteraan secara umum. Dalam pelaksanaannya, perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan memacu adanya pengembangan kreatifitas setiap orang sebagai modal utama agar pembangunan dapat dilaksanakan secara lebih baik. Beton merupakan salah satu unsur yang penting dalam konstruksi suatu bangunan. Pengetahuan dan pengembangan teknologi beton diperlukan untuk memperoleh suatu inovasi beton yang mempunyai karakteristik dan kualitas bagus. Beton dengan karakteristik dan kualitas yang bagus tersebut salah satunya adalah beton kinerja tinggi (*High Performance Concrete*). Kriteria beton kinerja tinggi di Indonesia selalu berubah-ubah, sesuai dengan kemajuan tingkat kinerja yang berhasil dicapai. Pada tahun 1950 an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton kinerja tinggi. Pada tahun 1960 an hingga awal 1970 an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa, dan untuk saat ini saat ini disebut beton kinerja tinggi untuk kuat tekan diatas 80 MPa (Supartono,1998).

Sebagian besar informasi yang berkaitan dengan beton kinerja tinggi dalam perencanaan campurannya (*mix design*) menggunakan jumlah semen yang sangat besar, bahkan hampir mendekati jumlah agregrat sebagai penyusun campuran beton kinerja tinggi tersebut. Penggunaan semen dengan jumlah besar dalam suatu campuran beton tentu akan meningkatkan kinerja beton tersebut, akan tetapi juga terdapat kendala yaitu biaya pembuatan beton akan semakin mahal dan berdampak buruk bagi lingkungan akibat penggunaan semen dalam jumlah besar. Sebagai alternatif, bahan pengganti sebagian semen dari industri pertanian seperti abu sekam padi dapat digunakan untuk campuran beton (Mehta, 1977; Mahmud, 1997).

Beton kinerja tinggi adalah beton generasi baru yang mempunyai karakteristik sebagai material padat dengan kuat tekan rencananya 60 MPa sampai dengan 100 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan beton konvensional yang ada pada saat ini rata-rata memiliki kekuatan beton sebesar 30 – 40 MPa. *Federal Highway Administration* (FHA) mengacu pada standar AASHTO T2 dan ASTM C39 dalam Goodspeed *et al.* 1996 mengelompokkan beton kinerja tinggi menjadi 4 *grade*, yaitu: *grade 1* = 41 MPa <  $f_c'$  < 55 MPa; *grade 2* = 55 MPa <  $f_c'$  < 69 MPa; *grade 3* = 69 MPa <  $f_c'$  < 97 MPa; dan *grade 4* =  $f_c'$  > 97 MPa. Pada dasarnya prinsip teknologi beton kinerja tinggi adalah sama seperti pada beton normal atau konvensional, dimana kita mencari susunan gradasi ukuran butiran yang dapat mengisi ruang kosong pada *matrix* semen ini. Perbedaannya adalah pada perencanaan campuran material betonnya yang berbasis teknologi nano, dimana ukuran butiran yang digunakan dalam rentang nanometer (disingkat nm) dan mengurangi secara ekstrim *water cement ratio* sampai dengan 0,2. Melalui pemilihan gradasi butiran halus ini akan diperoleh kepadatan per satuan volume (*packing density*) yang sangat tinggi. *Packing density* adalah istilah yang digunakan pada rencana campuran beton kinerja tinggi agar diperoleh campuran dengan kepadatan yang maksimum, yaitu dengan meminimalkan rongga kosong antara butiran atau partikel. Tingginya *packing density* menyebabkan beton kinerja tinggi mengalami proses karbonisasi yang minimal, daya tahan terhadap abrasi zat-zat kimia berbahaya sangat baik, memberi perlindungan terhadap korosi tulangan di dalam konstruksi juga lebih baik.



Gambar 1. Prinsip pengisian pori-pori pada material campuran beton kinerja tinggi

Beton kinerja tinggi (*High Performance Concrete*) saat ini sudah banyak digunakan dalam proyek-proyek besar di seluruh dunia, itu karena dalam pengerjaannya beton kinerja tinggi memiliki banyak keunggulan dibandingkan beton konvensional, contoh penggunaan beton kinerja tinggi diantaranya yaitu : Jembatan Tsing Ma (Hong Kong), Jembatan Ting Kau (Hong Kong), dan CBX Tower, La Defense (Paris). Material penyusun beton kinerja tinggi terdiri dari : PPC, agregat halus (pasir), *silica fume*, *superplasticizer*, air dan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebagai bahan pengganti sebagian semen. Seperti halnya beton normal, beton kinerja tinggi dalam penelitian ini dapat pula direncanakan untuk berbagai variasi penggunaan agregat, akan tetapi saat ini dikembangkan hanya menggunakan agregat halus yaitu berupa pasir dengan ukuran butiran 0,125 – 0,5 mm dan dalam penelitian ini digunakan pasir yang lolos saringan 850  $\mu$ m atau 0,85 mm. Agregat halus atau pasir dalam campuran beton kinerja tinggi ini berperan sebagai bahan utama pengganti agregat kasar sedangkan agregat halus tersebut perannya digantikan oleh *silica fume* sebagai pengisi pori atau rongga (*mikrofiller*) antara agregat halus untuk membuat struktur beton kinerja tinggi menjadi lebih padat.

Abu sekam padi merupakan hasil dari sisa pembakaran sekam padi. Selama proses perubahan sekam padi menjadi abu, pembakaran menghilangkan zat-zat organik dan meninggalkan sisa pembakaran yang kaya akan silika ( $SiO_2$ ). Perlakuan panas pada sekam padi menghasilkan perubahan struktur yang berpengaruh pada dua hal, yaitu tingkat aktivitas *pozzolan* dan kehalusan butiran abunya. Abu sekam padi tergolong sebagai bahan *pozzolan* alami (*natural pozzolan*) yang mengandung senyawa silika ( $SiO_2$ ). *Pozzolan* tersebut tidak memiliki peran sebagai perekat seperti semen, akan tetapi dalam kondisi halus jika bereaksi dengan air dan kapur pada suhu normal akan menjadi suatu massa padat yang tidak dapat larut dalam air (Tjokrodinuljo, 1996).

Kandungan SiO<sub>2</sub> (*Silica*) dalam abu sekam padi dapat mencapai sekitar 80% dan biasanya dikategorikan sebagai *pozzolan* reaktif. Abu sekam padi yang ditumbuk akan didapatkan ukuran partikel yang tepat karena ukuran partikel abu sekam padi mempengaruhi *workability* dan kekuatan beton (Habeeb, 2010). Abu sekam padi mampu untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen parsial dan mengurangi penggunaan sumber daya alam dalam proses pembuatan semen. (Habeeb, 2010; Kartini, 2010).

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dan besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan [1].

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots[1]$$

$f_c$  adalah kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>); P adalah beban (N); A adalah luas tampang (mm<sup>2</sup>).

Modulus elastisitas adalah hubungan linier antara tegangan dan regangan yang sangat penting dan banyak digunakan dan besarnya modulus elastisitas beton dapat dihitung dengan Persamaan [2].

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050} \dots\dots\dots[2]$$

$E_c$  adalah modulus elastisitas beton (MPa);  $S_2$  adalah kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa);  $S_1$  adalah kuat tekan saat regangan longitudinal mencapai  $\epsilon_1 = 0,00005$  ;  $\epsilon_2$  adalah regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat  $S_2$

### Konversi Benda Uji

Ukuran benda uji dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan dimensi 3/6 inch (diameter = 7,62 cm dan tinggi = 15,24 cm). Untuk hasil kuat tekannya berdasarkan *ACI Committee 611*, jika ukuran silinder dengan garis tengah serta tinggi yang berbeda-beda, koefisien kekuatan didasarkan atas kuat tekan benda uji silinder berukuran 6/12 inch (diameter = 15,24 cm dan tinggi = 30,48 cm), maka nilai konversinya bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konversi ukuran benda uji

| No. | Bentuk Benda Uji | Ukura Benda Uji (inch) | Koefisien Kekuatan |
|-----|------------------|------------------------|--------------------|
| 1   | Silinder         | Ø3 – H6                | 109%               |
| 2   | Silinder         | Ø3 – H6                | 106%               |
| 3   | Silinder         | Ø3 – H6                | 100%               |
| 4   | Silinder         | Ø3 – H6                | 96%                |
| 5   | Silinder         | Ø3 – H6                | 91%                |
| 6   | Silinder         | Ø3 – H6                | 86%                |
| 7   | Silinder         | Ø3 – H6                | 84%                |
| 8   | Silinder         | Ø3 – H6                | 82%                |

### METODE

Metode pada penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu suatu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu data. Percobaan dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Pengujian yang dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari dengan jenis pengujian meliputi uji bahan, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton. Benda uji yang digunakan adalah 18 buah silinder dengan diameter 3 inch dan tinggi 6 inch. Keterangan mengenai benda uji dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Keterangan benda uji

| Kode Benda uji | Persentase Abu Sekam Padi (%) | Jumlah Benda Uji | Ukuran Benda Uji (inch) | Umur Pengujian (hari) |
|----------------|-------------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| BKTN           | 0                             | 3                | Ø3 – H6                 | 28                    |
| BKT1           | 2,5                           | 3                | Ø3 – H6                 | 28                    |
| BKT2           | 5                             | 3                | Ø3 – H6                 | 28                    |
| BKT3           | 7,5                           | 3                | Ø3 – H6                 | 28                    |
| BKT4           | 10                            | 3                | Ø3 – H6                 | 28                    |
| BKT5           | 15                            | 3                | Ø3 – H6                 | 28                    |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kandungan kimia terhadap abu sekam padi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) sebagai syarat utama bahan *pozzolan*. Pengujian kimia abu sekam padi ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian kandungan kimia abu sekam padi

| No. | Parameter  | Kadar (%) |
|-----|--|-----------|
| 1   | Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> )                  | 82,26     |
| 2   | Aluminium Trioxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 2,56      |
| 3   | Ferric oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )       | 1,74      |
| 4   | Calcium oxide (CaO)                                  | 2,16      |
| 5   | Magnesium oxide (MgO)                                | 1,74      |
| 6   | Potassium oxide (K <sub>2</sub> O)                   | 3,70      |
| 7   | Phosphorus oxide (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )    | 3,24      |
| 8   | Titanium oxide (TiO <sub>2</sub> )                   | 0,19      |
| 9   | Manganese oxide (MnO)                                | 0,33      |

Nilai *flow table test* beton beton kinerja tinggi rata-rata adalah 18,25cm, campuran beton kinerja tinggi dengan abu sekam padi menjadi kurang encer sehingga tingkat *workabilitas* menjadi lebih rendah dibandingkan beton kinerja tinggi tanpa abu sekam padi.

Tabel 4. Hasil *flow table test* beton segar dengan variasi semen dan abu sekam padi.

| Persentase Abu Sekam Padi | Data Flow Table Test    |                         |                                 |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                           | Diameter sebaran 1 (cm) | Diameter sebaran 2 (cm) | Diameter Sebaran Rata-Rata (cm) |
| 0%                        | 18                      | 18,5                    | 18,25                           |
| 2,5 %                     | 17,5                    | 17                      | 17,25                           |
| 5%                        | 16,5                    | 16,7                    | 16,60                           |
| 7,5 %                     | 16                      | 16,3                    | 16,15                           |
| 10%                       | 15,8                    | 15,3                    | 15,55                           |
| 15%                       | 15                      | 14,7                    | 14,85                           |

Pengujian benda uji dilakukan guna mengetahui nilai kuat tekan serta modulus elastisitas beton kinerja tinggi akibat pengaruh penggunaan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) sebagai bahan pengganti sebagian berat semen dari beton kinerja tinggi pada umur 28 hari.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton

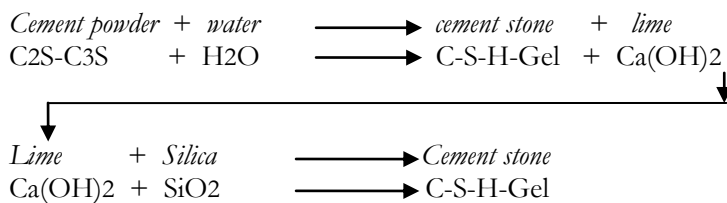
| No. | Kode Benda Uji | P maks (kN) | f <sub>c</sub> (MPa) | f <sub>c</sub> ' rata-rata (MPa) |
|-----|----------------|-------------|----------------------|----------------------------------|
| 1   | BKTN A         | 425         | 87,96                |                                  |
| 2   | BKTN B         | 400         | 82,79                | 85,55                            |
| 3   | BKTN C         | 415         | 85,89                |                                  |
| 4   | BKT1 A         | 445         | 92,10                |                                  |
| 5   | BKT1 B         | 410         | 84,86                | 88,65                            |
| 6   | BKT1 C         | 430         | 89,00                |                                  |
| 7   | BKT2 A         | 435         | 90,03                |                                  |
| 8   | BKT2 B         | 465         | 96,24                | 91,41                            |
| 9   | BKT2 C         | 425         | 87,96                |                                  |
| 10  | BKT3 A         | 470         | 97,28                |                                  |
| 11  | BKT3 B         | 435         | 90,03                | 94,17                            |
| 12  | BKT3 C         | 460         | 95,21                |                                  |

Lanjutan Tabel 5

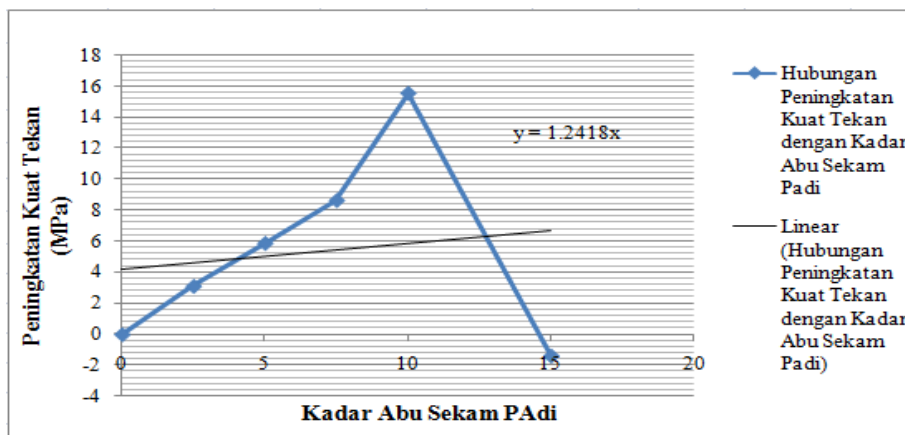
|    |        |     |        |        |
|----|--------|-----|--------|--------|
| 13 | BKT4 A | 485 | 100,38 |        |
| 14 | BKT4 B | 505 | 104,52 | 101,07 |
| 15 | BKT4 C | 475 | 98,31  |        |
| 16 | BKT5 A | 390 | 80,72  |        |
| 17 | BKT5 B | 430 | 89,00  | 84,17  |
| 18 | BKT5 C | 400 | 82,79  |        |

Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan beton maksimal dengan campuran abu sekam padi mengalami kenaikan sebesar 18,15% dari beton kinerja tinggi normal karena adanya kontribusi abu sekam padi setelah menjadi komposit dengan beton. Data sekunder dari penelitian terdahulu oleh Lubis (2004) didapatkan kuat tekan rata-rata beton normal K-225 dan kuat tekan maksimal beton dengan campuran abu sekam padi pada umur 28 hari yaitu sebesar 24,63 MPa dan 29,26 MPa (mengalami peningkatan sebesar 18,84%). Penggunaan abu sekam padi yang mengandung senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton dapat mengikat kapur mati  $\text{Ca(OH)}_2$  sehingga kuat tekan beton meningkat, mengurangi panas hidrasi dan meningkatkan modulus elastisitas beton. Sehingga diperoleh kualitas beton yang lebih baik. Selain itu, abu sekam padi juga berperan sebagai pengisi pori atau celah (*mikrofiller*) antara agregat halus.

Peran silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam campuran beton dapat dilihat sebagai berikut :



Peningkatan kuat tekan beton kinerja tinggi dalam penelitian ini dinyatakan ke dalam analisa regresi pada program *Microsoft excel* ditampilkan pada Gambar 2 sebagai berikut :



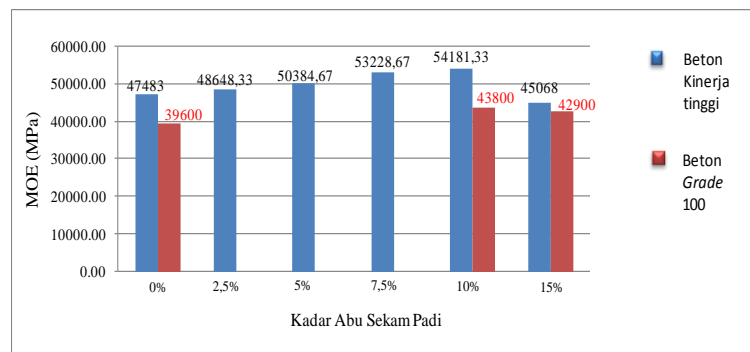
Gambar 2. Hubungan Peningkatan Kuat Tekan dengan Kadar Abu Sekam Padi

Pengujian modulus elastisitas beton kinerja tinggi dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan, dengan penambahan alat uji berupa *extensometer* yang dilengkapi *dial gauge* untuk mengetahui nilai regangan. Modulus elastisitas beton akan meningkat dengan bertambahnya waktu. Peningkatan modulus elastisitas tergantung pada kelangsungan hidrasi semen, yang berhubungan dengan berkurangnya porositas beton dan peningkatan kekuatan. Penggunaan bahan tambah pengganti sebagian semen untuk meningkatkan kepadatan beton selain itu juga dapat meningkatkan kuat tekan dan menaikkan modulus elastisitas beton. Kekuatan beton yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga modulus elastisitas ( $E_c$ ) yang tinggi pula. Hasil pengujian modulus elastisitas beton kinerja tinggi dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian modulus elastisitas beton

| No. | Kode Benda Uji | Ec Perhitungan (Mpa) | Ec Perhitungan Rata-rata (MPa) |
|-----|----------------|----------------------|--------------------------------|
| 1   | BKTN A         | 49943                |                                |
| 2   | BKTN B         | 50371                | 47483,00                       |
| 3   | BKTN C         | 42135                |                                |
| 4   | BKT1 A         | 45622                |                                |
| 5   | BKT1 B         | 54001                | 48648,33                       |
| 6   | BKT1 C         | 46322                |                                |
| 7   | BKT2 A         | 55731                |                                |
| 8   | BKT2 B         | 38514                | 50384,00                       |
| 9   | BKT2 C         | 56907                |                                |
| 10  | BKT3 A         | 58569                |                                |
| 11  | BKT3 B         | 54028                | 53228,67                       |
| 12  | BKT3 C         | 47089                |                                |
| 13  | BKT4 A         | 53417                |                                |
| 14  | BKT4 B         | 55100                | 54181,33                       |
| 15  | BKT4 C         | 54027                |                                |
| 16  | BKT5 A         | 52401                |                                |
| 17  | BKT5 B         | 41416                | 45068,00                       |
| 18  | BKT5 C         | 41387                |                                |

Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton didapatkan nilai modulus elastisitas beton kinerja tinggi mengalami kenaikan akibat penggunaan abu sekam padi yaitu sebesar 2,45% - 14,11%. Penelitian sebelumnya oleh Mahmud H.B., Bahri S. (2011) didapatkan modulus elastisitas rata-rata beton *grade* 100 dengan 0%, 10% dan 15% abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen pada umur 28 hari yaitu sebesar 39600 MPa, 43800 MPa dan 42900 MPa. Perbandingan modulus elastisitas beton kinerja tinggi dan beton *grade* 100 (Mahmud H.B., Bahri S. 2011) dengan variasi abu sekam padi disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 3. Perbandingan Modulus Elastisitas

Dari hasil pengujian dan perhitungan, didapat hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi, yang disajikan dalam Tabel 7.

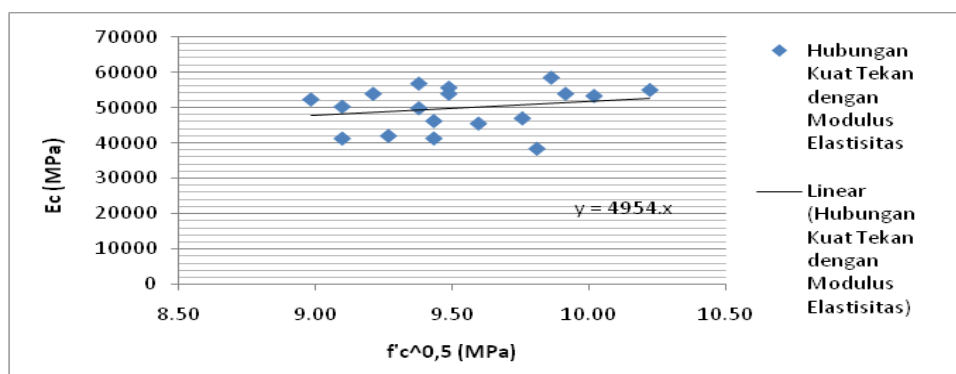
Tabel 7. Hubungan Kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi

| No. | Kode benda uji | Keterangan  | Kuat tekan (MPa) | Akar $f'c$ | Ec perhitungan (MPa) | Rumus empiris |
|-----|----------------|---|------------------|------------|----------------------|---------------|
| 1   | BKTN A         | Beton kinerja tinggi dengan kadar abu sekam padi 0% | 87,96            | 9,38       | 49943                | 5325,04       |
|     | BKTN B         |   | 82,79            | 9,10       | 50371                | 5535,96       |
|     | BKTN C         |   | 85,89            | 9,27       | 42135                | 4546,34       |

Lanjutan Tabel 7

|   |        |   |        |       |       |         |
|---|--------|---|--------|-------|-------|---------|
| 2 | BKT1 A | Beton kinerja tinggi dengan kadar abu sekam padi 2,5% | 92,10  | 9,60  | 45622 | 4753,76 |
|   | BKT1 B |   | 84,86  | 9,21  | 54001 | 5862,09 |
|   | BKT1 C |   | 89,00  | 9,43  | 46322 | 4910,16 |
| 3 | BKT2 A | Beton kinerja tinggi dengan kadar abu sekam padi 5%   | 90,03  | 9,49  | 55731 | 5873,47 |
|   | BKT2 B |   | 96,24  | 9,81  | 38514 | 3925,86 |
|   | BKT2 C |   | 87,96  | 9,38  | 56907 | 6067,56 |
| 4 | BKT3 A | Beton kinerja tinggi dengan kadar abu sekam padi 7,5% | 97,28  | 9,86  | 58569 | 5938,29 |
|   | BKT3 B |   | 90,03  | 9,49  | 54028 | 5693,99 |
|   | BKT3 C |   | 95,21  | 9,76  | 47089 | 4825,96 |
| 5 | BKT4 A | Beton kinerja tinggi dengan kadar abu sekam padi 10%  | 100,38 | 10,02 | 53417 | 5331,52 |
|   | BKT4 B |   | 104,52 | 10,22 | 55100 | 5389,50 |
|   | BKT4 C |   | 98,31  | 9,92  | 54027 | 5448,87 |
| 6 | BKT5 A | Beton kinerja tinggi dengan kadar abu sekam padi 15%  | 80,72  | 8,98  | 52401 | 5832,44 |
|   | BKT5 B |   | 89,00  | 9,43  | 41416 | 4390,12 |
|   | BKT5 C |   | 82,79  | 9,10  | 41387 | 4548,59 |

Dengan memasukkan data  $\sqrt{f_c'}$  dan modulus elastisitas dari Tabel 7. ke dalam analisa regresi pada program *Microsoft excel*, didapatkan grafik hubungan  $\sqrt{f_c'}$  dan modulus elastisitas serta persamaan linier yang ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan pada beton kinerja tinggi

Dari grafik pada Gambar 4. dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada penelitian ini memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4954 \sqrt{f_c'} \quad (\text{Beton Kinerja Tinggi})$$

Sedangkan hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan dalam beton normal memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (\text{SK SNI-T-15-1991})$$

$$E_c = 4730 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (\text{ACI 318-89, Revised 1992,1996})$$

## SIMPULAN

Penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton kinerja tinggi berpengaruh pada kuat tekan. Kuat tekan beton kinerja tinggi mengalami peningkatan dan penurunan akibat penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen. Peningkatan kuat tekan beton kinerja tinggi terjadi pada penggunaan abu sekam padi sebesar 2,5% , 5% , 7,5% , dan 10%. Kuat tekan maksimal terjadi pada penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen yaitu 101,07 MPa, lebih besar dari kuat tekan beton

kinerja tinggi tanpa abu sekam padi sebesar 85,55 Mpa atau meningkat 18,15%. Proses peningkatan kuat tekan beton kinerja tinggi ini disebabkan oleh dua kontribusi abu sekam padi yang menggantikan sebagian berat semen. Kontribusi yang pertama yaitu abu sekam padi berperan dalam penyempurnaan hasil hidrasi semen, dimana kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 82,26% dalam abu sekam padi dapat mengikat kapur mati ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) kemudian menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H Gel) yang lebih baik dari beton kinerja tinggi tanpa abu sekam padi dan kontribusi kedua yaitu abu sekam padi juga dapat mengisi kekosongan pada celah atau rongga antara agregat halus sehingga membuat beton menjadi lebih padat. Penurunan kuat tekan beton kinerja tinggi terjadi saat penggunaan abu sekam padi sebesar 15% dari berat semen. Kuat tekan beton kinerja tinggi dengan penggunaan abu sekam padi sebesar 15% dari berat semen yaitu 84,17 MPa atau menurun 1,61% dari kuat tekan beton kinerja tinggi tanpa abu sekam padi. Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya. Pada beton kinerja tinggi nilai modulus elastisitas mengalami peningkatan 2,45% - 14,11% dan juga penurunan 5,09%. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai modulus elastisitas sama seperti halnya yang terjadi pada kuat tekan, yaitu karena kandungan senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang dimiliki abu sekam padi cukup besar dan ukuran butiran abu sekam padi yang sangat kecil sehingga dapat berfungsi sebagai pengisi (*mikrofiller*) celah atau pori-pori antara butiran agregat halus. Penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton kinerja tinggi dapat mengurangi nilai workabilitas beton segar. Semakin besar penggunaan abu sekam padi pada campuran beton, maka akan semakin rendah nilai workabilitas beton tersebut. Penurunan workabilitas tersebut disebabkan karena abu sekam padi merupakan material yang bersifat hidroskopis (menyerap air), sehingga sebagian air yang terdapat pada adukan beton diserap oleh abu sekam padi.

## REKOMENDASI

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang beton kinerja tinggi dengan campuran abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen. Variasi faktor air semen yang bervariasi untuk mendapatkan faktor air semen optimum. Penggunaan jenis semen dengan kualitas yang lebih baik dari PPC untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang lebih tinggi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penyusun ucapkan kepada kepada Bapak Dr. Techn. Ir. Sholihin As'ad, MT dan Bapak Ir. Sunarmasto, MT selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini. Terima kasih kepada bapak, ibu, keluarga dan teman-teman yang telah memberi doa dan dukungan serta semua pihak yang membantu proses pelaksanaan tugas akhir ini sehingga dapat selesai tepat pada waktunya.

## REFERENSI

- Departemen Pekerjaan Umum, 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*, Bandung
- Habeeb, G. A., Mahmud, H.B. (2010). " Studies on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material." *Material Research* **13**(2) : 185-190
- Hardjasaputra, Harianto, Joey Tirtawijaya dan S, Giovanni Tandaju. 2011. *The Recent Development Of Ultra High Performance Concrete (UHPC) In Indonesia*. Internasional Conference of EACEF (European Asian Civil Engineering Forum) B 111-116, Univ. Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia.
- Istimawan Dipohusodo. 1996. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta. PT.Gramedia Pustaka Utama.
- Kartini, K., Mahmud, H.B., Hamidah, M.S. (2010). "Absorption and permeability performance of Selangor rice husk ash blended Grade 30 concrete." *Journal of Engineering Science & Technology* **5** (1) : 1-16
- Lubis, Loly Siti Khadijah .2004. *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik* . Tesis, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Mahmud, H.B., Bahri, S. 2011. *Development of Sustainable High Performance Grade 100 Concrete Incorporating Rice Husk Ash*. Proceedings of the 4th ASEAN Civil Engineering Conference : 69 - 75 , Yogyakarta, Indonesia.
- Mehta, P. K. (1977). "Properties of blended cements made from rice husk ash". *American Concrete Institute Journal Proceedings* **74** (9) : 440-442.
- Supartono, F.X .1998. *Mengenal dan mengetahui permasalahan pada produksi beton berkinerja tinggi*, artikel ilmiah, UI, Jakarta.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Arif: Yogyakarta.